



EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE RADIACIÓN DENTRO DE UNA COCINA SOLAR TIPO CAJA

M. Quiroga, Saravia L.¹
INENCO² : Universidad Nacional de Salta - CONICET
Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
Fax : 54-387-4255489, E-mail: quirogam@inenco.net

RESUMEN:

El trabajo presenta las experiencias realizadas para evaluar la distribución de la radiación, entre paredes, piso y olla en el interior de una cocina tipo caja. Se evaluaron comparativamente dos situaciones, a) cocina con el interior revestido de chapa negra, b) cocina con interior cubierto con material reflectivo, en mediciones realizadas en verano (enero/02) e invierno (agosto/02) con y sin reflector. Se pudo determinar que el aporte del reflector es un 20 % superior en invierno que en verano, y que ocasiona un enriquecimiento en las longitudes de onda entre los 500 y 700 nm. La extinción del vidrio medida es de un 35 %. Se establecieron los coeficientes que relacionan la porción de radiación recibida y la radiación total incidente dentro de la cocina.

PALABRAS CLAVES: Cocinas solares, cocinas solares tipo caja, distribución de radiación, ganancias energéticas.

INTRODUCCIÓN:

En un trabajo anterior (Quiroga et al 2001) se presentó la simulación en SCEPTRE - :Linux, de una cocina solar tipo caja, trabajando con un prototipo construido en INENCO. En el mismo se presenta el diagrama del circuito eléctrico con su analogía térmica, considerando los intercambios radiativos, convectivos y conductivos, internos de la cocina, entre la cocina y el ambiente, los ingresos y pérdidas energéticos.

Los flujos de calor (ganancias de energía) representados por la radiación solar incidente en la cocina, y representados como J, JQ fueron afectados por un coeficiente que representaba estimativamente la porción de radiación recibida por cada superficie en el interior de la cocina. De esta manera la radiación se repartió entre el piso (al que se asignó 60 %), las paredes, tapa y laterales de la olla. En la simulación se ingresó una tabla que contenía los valores de radiación medidos en W/m^2 , afectados por la superficie de colección y considerando la extinción de radiación introducida por el vidrio, cuyos valores se relacionaron con los citados coeficientes para la estimación de las ganancias individuales de energía en las superficies consideradas.

Si bien la simulación ajustó bastante aproximadamente, representando el comportamiento de la cocina durante el proceso de calentamiento de agua en una olla en su interior, se observó la necesidad de realizar un trabajo de mayor precisión para determinar los coeficientes que representan las ganancias y distribución de la energía dentro de la cocina. Para ello se realizaron una serie de mediciones cuya metodología y resultados se presentan en el trabajo

Se evaluó comparativamente la distribución de radiación dentro de la cocina en dos situaciones, a) con el interior de la cocina revestido de chapa negra y B) con el interior de la cocina cubierto con material reflectivo. Para lograr mayor validez en los resultados, se realizaron mediciones de verano (enero/02) y de invierno (agosto/02). Las mediciones se efectuaron alternativamente usando el reflector y sin él, con lo que se pudo evaluar el aporte del reflector en ambas épocas del año.

Complementariamente se midió la absorbancia de radiación de la chapa negra y de la reflectiva, los albedos de la cocina con ambos materiales en su interior y se ajustaron las medidas respecto a la extinción de radiación y modificación en el espectro de radiación provocada por el vidrio de la cocina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con la cocina tipo caja cuya evaluación y simulación se presentaron en (Quiroga et al 2001), construida en INENCO - Salta, cuadrangular de 0,5 x 0,5 m, con una superficie vidriada inclinada con un ángulo de 13° con cubierta exterior de chapa de aluminio e interior de chapa de acero inoxidable, las paredes con aislación de lana de vidrio de 0,05 m de espesor y el fondo con 0,1 m.

Los ensayos se realizaron comparativamente recubriendo piso y paredes internas de la cocina alternativamente con chapa galvanizada cubierta con pintura negro mate para alta temperatura (resistencia hasta 650 °C) y con chapa de aluminio de alta reflectividad. (reflectancia 85 %). En cada oportunidad se colocó dentro de la cocina la olla que se empleó para todas las ¹ experiencias (0,21 m de diámetro x 0,12 m de altura, con una tapa de 0,24 m de diámetro).

¹ Investigador CONICET 2. Instituto UNSA-CONICET

Para las medidas se usaron 7 sensores de radiómetros Li-Cor modelo LI 250, que se distribuyeron de la siguiente manera: tapa de la olla, a los costados norte y sur de la olla con el eje perpendicular a la misma (apuntando a las paredes norte y sur respectivamente) piso de la cocina al este y oeste, y al centro de la pared posterior de la cocina; el último se empleó como radiómetro móvil para la evaluación de radiación horizontal externa, en 9 puntos sobre el vidrio de la cocina, contra el vidrio dentro de ella y del albedo de la cocina.

Cabe aclarar que en la ubicación de las paredes y diferentes puntos de la cocina, nos estamos refiriendo siempre a la cocina según su orientación al mediodía solar, de esta manera la pared norte es la pared anterior de la cocina (de menor altura, que mira hacia el norte al mediodía) la pared sur es la opuesta a ella, donde se ubica la puerta de acceso, los sectores de piso y paredes este y oeste son los ubicados a la derecha e izquierda de la pared norte respectivamente. De la misma manera cuando hablamos del lado norte de la olla se trata de la cara de la olla que mira hacia el norte al mediodía. Las mediciones de verano se efectuaron entre el (6 y 15 de enero) y las de invierno entre el 4 y 10 de agosto.

Se caracterizaron las chapas usadas para revestir paredes de las cocinas, midiendo su absorbancia y reflectancia, para distintas longitudes de onda, con un espectrorradiómetro Li 1800, siguiendo la metodología descrita en (Echazú et. al. 2000).

Se evaluó el aporte energético del reflector (concentrador) separadamente para verano e invierno, tomando series de mediciones sobre el vidrio de la cocina y dentro de ella, con y sin reflector.

Por otra parte se realizó un testeó de distribución de temperaturas en las distintas paredes de la cocina durante el proceso de calentamiento de 2,5 l de agua. Para ello se colocaron termocuplas soldadas a las caras posteriores de paredes y fondo de la cocina y dentro del agua, dichas medidas serán tomadas en un trabajo posterior, como referencia para evaluar la validez de la simulación, con los valores de distribución de radiación obtenidos en el presente.

Se evaluó también el comportamiento del doble vidrio de la cocina, midiendo la reducción en la cantidad de radiación ingresante y la variación espectral provocada por los mismos. Para descartar alteraciones en las mediciones de los solarímetros, derivadas de la variación del espectro de radiación introducida por el vidrio; se realizaron calibraciones externas e internas a la cocina, con un solarímetro patrón Eppley. Para la calibración de tomaron varios puntos dentro y fuera de la cocina, con y sin reflector, en las dos épocas de trabajo, corrigiendo luego las mediciones con las ecuaciones resultantes de las regresiones correspondientes a cada sensor.

Las radiaciones medidas en distintas épocas y con diferentes materiales de cobertura interna de la cocina, se integraron para obtener la energía acumulada en cada sector de la cocina y se calcularon las relaciones de proporción entre la ganancia total de radiación dentro de la cocina con las parciales de cada sector.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las conclusiones se consignarán en un breve párrafo al final de cada grupo de resultados, cabe aclarar que se trata de un análisis preliminar de los resultados obtenidos, donde cabe un análisis más profundo.

La caracterización de las chapas se realizó , con un espectroradiómetro Li 1800, evaluando la reflectancia de los materiales entre los 400 y 1100 nm, con una esfera integradora Li 12 de Lincoln Corp. La figura representa gráficamente la variación de la reflectancia para diferentes longitudes de onda, de las chapas empleadas en el recubrimiento interno de la cocina, como era esperable la reflectancia de la chapa de acero inoxidable resultó notablemente mayor que la chapa negra.

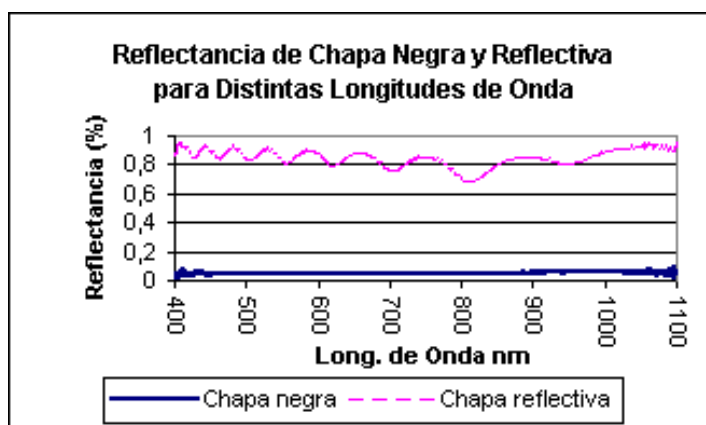


Fig 1 representación de la reflectancia de las chapas empleadas para el revestimiento interno de la cocina tipo caja.

El gráfico de la fig 1 para la chapa reflectiva, presenta una ondulación leve debida a fenómenos de interferencia entre el material y la red de difracción holográfica del aparato. La reflectancia media para la chapa de aluminio reflectivo es del 85 % (absorbancia del 15 %) con una pequeña caída en la reflexión alrededor de los 800 nm, mientras que para la chapa negra la reflectancia es muy baja y prácticamente constante con una media de 0,05 (absorbancia del 95 %).

Estos valores son importantes a los efectos de interpretar el comportamiento de la distribución de radiación dentro de la cocina y absolutamente necesarios para dimensionar los intercambios radiativos internos de la misma.

Otra de las mediciones realizadas para caracterizar radiativamente el comportamiento de la cocina fue la evaluación del reflector tanto en lo referido a su aporte, como a la posible variación espectral introducida por el mismo.

Cabe destacar que la cocina con la que se trabajó tiene ya algunos años de uso, pero resultaba interesante evaluar una cocina en condiciones reales de trabajo, por lo que el reflector concentrador, destinado a incrementar la radiación ingresante a la cocina, construido en aluminio de alta reflectividad, presenta algunas pequeñas irregularidades normales por el uso y no es un verdadero "espejo plano". Esto hace que el reflector proyecte la luz sobre la cocina a modo de pequeñas vetas y no en forma uniforme y pareja, por lo que las mediciones de radiación varían enormemente en puntos diferentes, aún a muy corta distancia uno de otro, saliéndose del rango de medida del sensor en muchos casos cuando los puntos de medición se encontraron justo dentro de una veta de luz.

Se trató de compensar las variaciones a través de series de mediciones repetidas, en puntos fijos a lo largo y ancho de la cocina. Las mediciones tanto en verano como en invierno se realizaron en repetidas oportunidades en 9 puntos distribuidos sobre el vidrio de la cocina y en el interior de la misma. Para las series de medidas de verano e invierno, se calculó en cada punto y para cada medición la "Relación de Concentración" es decir el cociente entre el valor de radiación medido en el punto con reflector y sin él, calculándose luego los valores promedios para verano e invierno, de ello se pudo observar que si bien existe en algunas series una superposición en los valores de aporte del reflector entre las dos épocas, el aporte medio del reflector es un 20 % superior en invierno que en verano.

A modo de ejemplo, el gráfico presenta la variación de las Relaciones de concentración tomadas en horas aproximadas en enero y agosto

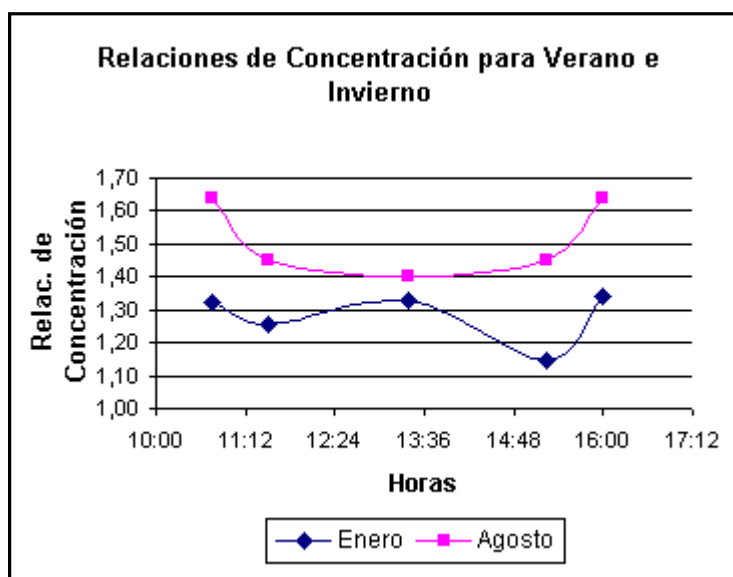


Fig 2: Relaciones de Concentración (evaluación del aporte del reflector) para las medidas de verano e invierno

Los resultados finales medios para los conjuntos de medidas fueron de una relación de concentración de 1,297 lo que implica un aporte medio aproximado a un 30 %, para el mes de enero y de 1,4975, aporte aproximado del 50 % para el mes de agosto.

Inicialmente se calibraron los solarímetros Li-Cor, con una sucesión de mediciones tomadas al aire libre, comparativas con un solarímetro patrón Eppley, luego se consideró la posibilidad de que las medidas de los solarímetros se vieran alteradas en el interior de la cocina por variaciones espectrales en la radiación, provocadas ya sea por el vidrio o por el reflector.

Para verificar la existencia de variaciones espectrales dentro de la cocina se hicieron mediciones espectrales dentro de la misma con y sin reflector, la siguiente figura muestra la irradiancia medida para distintas longitudes de onda, entre los 400 y 1100 nm.

La línea intermedia más clara representa la radiación espectral solar, fuera de la cocina, la línea sin reflector fue tomada dentro de la cocina, y representa solamente el efecto del vidrio, y la línea con reflector (superior) el efecto sumado del vidrio y el reflector.

Como puede observarse, respecto a la radiación exterior, el vidrio reduce el ingreso dentro de la cocina en forma pareja para todas las longitudes de onda, sin modificar la relación proporcional en la zona de radiación visible, en cambio al incorporar el reflector se enriquece la radiación comprendida entre los 500 y 700 nm. En la zona de infrarrojos se produce la caída en la transmitancia usual por la interposición del vidrio, aunque esta es bastante menos notable en las medidas sin reflector y mayor en las medidas con reflector.

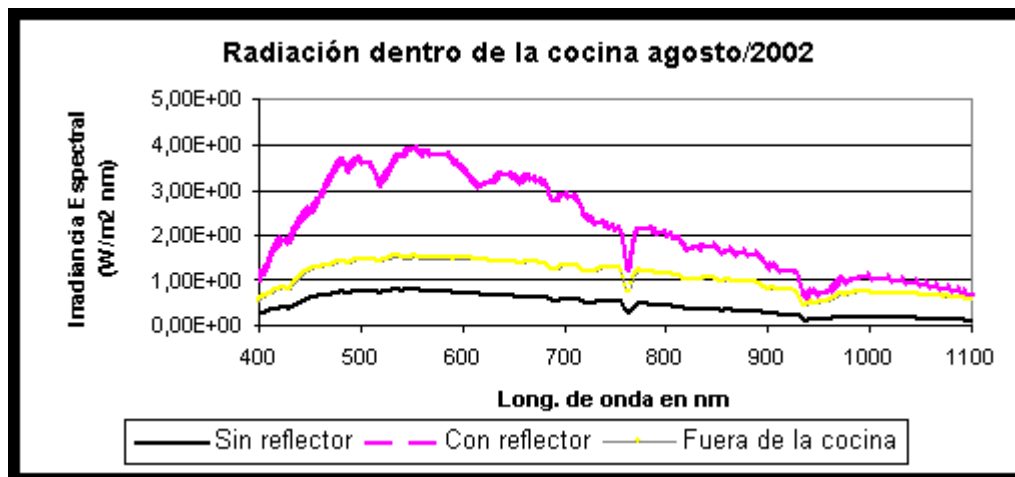


Fig.3: Irradiancia espectral, dentro y fuera de la cocina con y sin reflector

Este cambio en el espectro introducido por el reflector obligó a considerar la posible alteración en las medidas de los sensores debidas al cambio en el espectro de radiación, y por lo tanto de variación en las ecuaciones de calibración de los sensores respecto de las tomadas en el exterior. Por ello se realizaron nuevas series de medidas (con solarímetros Li-Cor y Solarímetro Patrón) en puntos diversos dentro de la cocina con y sin reflector y fuera de ella, con las que se calcularon las ecuaciones de regresión para estas condiciones. De esta manera se aplicaron a todas las medidas ecuaciones de calibración diferentes según se trataran de mediciones exteriores o interiores a la cocina con o sin reflector.

Las medidas espectrales presentadas en Fig 3, permitieron además calcular la transmitancia del doble vidrio de la cocina que resultó ser del 67 % para las medidas de enero y del 68 % para las de agosto (tomadas con espectroradiómetro Li 1800), aunque cabe acotar que, como parte del trabajo, se efectuaron además series de mediciones dentro y fuera del vidrio con solarímetros Li-Cor y el resultado fue una transmitancia del 65 %.

Finalmente para la evaluación de las distribuciones de radiación en el interior de la cocina, objeto del presente trabajo, se convirtieron las medidas de radiación W/m2 a energía (MJ), considerando los tiempos y las áreas de influencia de cada solarímetro.

De esta manera para los solarímetros del piso (Este y Oeste) se consideró un área igual a la mitad del piso menos el área de la olla. Para los laterales norte y sur de la olla se consideró un área igual a la mitad del área total de olla pared de la olla. Para la tapa y la Pared sur se consideraron sus áreas reales.

Respecto a la radiación exterior se tomó el promedio para cada hora de los 9 puntos distribuidos sobre el vidrio y se los afectó por el área total del vidrio; para el cálculo de la radiación incidente dentro de la cocina, la radiación exterior se redujo el 35 % correspondiente al coeficiente de extinción del vidrio. Se tomó este valor de extinción ya que el tipo de sensor usado para su cálculo fue el mismo de los que se emplearon para las demás medidas, resultando por ello comparables con las mismas. El albedo se tomó en el punto exterior central, con el solarímetro apoyado sobre el vidrio y mirando hacia el interior de la cocina.

La tabla 1 muestra la ubicación y notación empleada en el gráfico para cada uno de los puntos de toma de datos de radiación y las áreas con que se afectó a cada uno para la estimación de la energía total recibida

Ubicación Solarímetros	Area m2
Area total vidriada (Rad)	0,25
Piso Este (PE)	0,1052
Piso Oeste (PO)	0,1052
Pared Sur de la cocina(PS)	0,1450
Olla Lado Sur (OLS)	0,0409
Tapa de la olla (OT)	0,0471
Olla Lado Norte (OLN)	0,0409
Albedo	0,25
Radiación externa e interna en la cocina	0,25

Tabla 1 Areas relativas a los puntos de medición en la experiencia, notación empleada en gráficos 4 y 5

Los gráficos 4 y 5 muestran la distribución de radiación resultante en los distintos puntos considerados dentro de la cocina, para los periodos enero y agosto respectivamente

Los gráficos representan las dos situaciones evaluadas en las cocinas (Interior Negro e Interior Reflectivo) y a su vez la radiación medida con y sin reflector para cada situación.

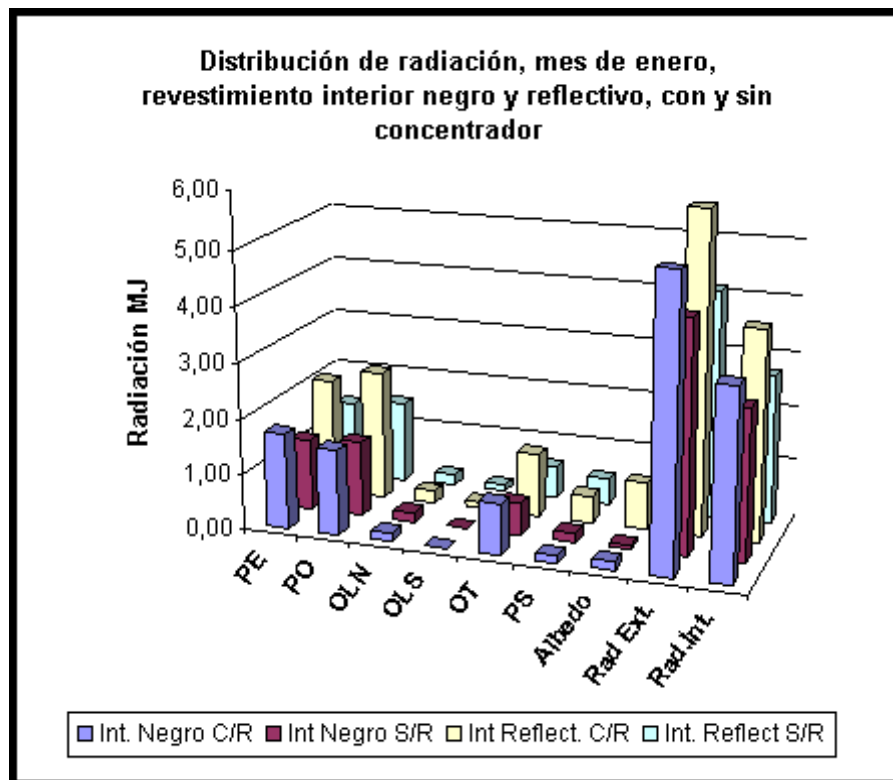


Fig 4 - Distribución comparativa de la energía para el mes de enero en 6 puntos considerados en el interior de la cocina tipo caja y radiación total incidente dentro de la cocina (MJ)

Las barras situadas en el sector posterior del gráfico representan la situación de cocina revestida con interior reflectivo con y sin reflector respectivamente, podemos ver que en todas las superficies consideradas la cantidad total de radiación supera a la recibida por la misma superficie cuando el interior de la cocina es negro, esto es por la distribución más homogénea de la radiación dentro de la cocina provocada por la mayor reflectividad de sus paredes.

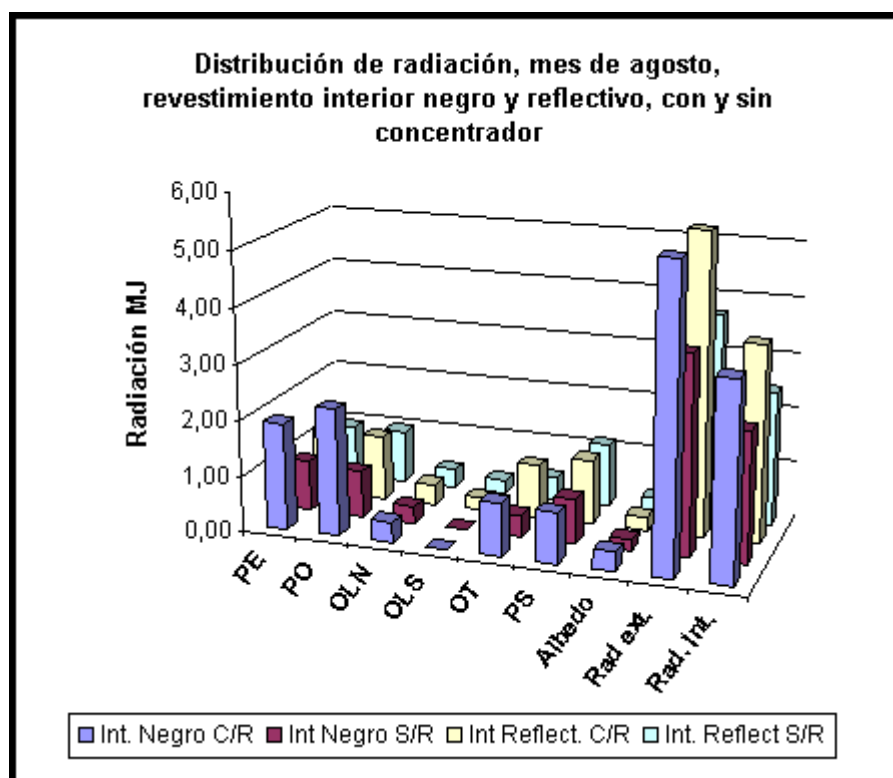


Fig 5 - Distribución comparativa de la energía para el mes de agosto en 6 puntos considerados en el interior de la cocina tipo caja y radiación total incidente dentro de la cocina (MJ)

Las tablas 2 y 3 muestran la porción de la radiación total ingresante en la cocina que incide sobre las superficies consideradas para el mes de enero y agosto

Fracción de la radiación total incidente mes de enero				
	Interior Negro Con Reflector.	Interior Negro Sin Reflector	Interior Reflectivo Con Reflector	Interior Reflectivo Sin Reflector
PE	0,51	0,48	0,56	0,51
PO	0,45	0,50	0,62	0,55
OLN	0,05	0,06	0,06	0,08
OLS	0,00	0,00	0,03	0,04
OT	0,27	0,22	0,31	0,22
PS	0,04	0,06	0,13	0,17
Albedo	0,05	0,02	0,25	0,11
Rad Exterior (MJ)	5,19	4,17	5,79	4,15
Rad.Interior (MJ)	3,40	2,73	3,79	2,72

Tabla 2: porción de la radiación total ingresada en la cocina que incide sobre las superficies consideradas, para el mes de enero, en la tabla solamente se expresan en MJ la radiación externa e interna, siendo adimensionales las restantes.

Fracción de la radiación total incidente mes de agosto				
	Interior Negro Con Reflector.	Interior Negro Sin Reflector	Interior Reflectivo Con Reflector	Interior Reflectivo Sin Reflector
PE	0,55	0,39	0,34	0,39
PO	0,65	0,36	0,33	0,39
OLN	0,11	0,13	0,11	0,14
OLS	0,00	0,00	0,07	0,10
OT	0,27	0,17	0,27	0,17
PS	0,26	0,34	0,33	0,46
Albedo	0,10	0,08	0,07	0,10
Rad ext (MJ)	4,76	3,1	4,8	3,3
Rad. Int. (MJ)	3,53	2,35	3,55	2,44

Tabla 3: porción de la radiación total ingresada en la cocina que incide sobre las superficies consideradas, para el mes de agosto, en la tabla solamente se expresan en MJ la radiación externa e interna, siendo adimensionales las restantes.

Las condiciones normales de uso de la cocina son con el reflector incorporado por lo tanto analizaremos prioritariamente estas condiciones. De su comparación surge que la porción de radiación recibida por la tapa de la olla no varía considerablemente respecto a la época del año ni del interior de la cocina, de hecho la radiación instantánea que recibe la tapa de la olla es la mayor de todas las superficies, quedando esto enmascarado en los totales por el área relativamente pequeña de la misma.

La mayor porción de radiación es recibida por el piso, y como era de esperarse es en proporción muy insignificante la cantidad de radiación recibida por la cara que mira al sur de la olla. La pared sur de la cocina no tiene mayor relevancia en la colección de radiación en verano, pero es de mayor importancia en invierno. El albedo es bastante superior en las medidas de enero y con interior reflectivo, siendo llamativa la escasa diferencia en estas medidas para las distintas condiciones en el mes de agosto.

En todas las situaciones la suma de las radiaciones parciales de los distintos puntos superan el total de radiación ingresante medida en el vidrio, lo cual es razonable ya que los sensores miden la radiación recibida, proveniente en cada punto en parte del ingreso directamente desde el vidrio y en parte proveniente de reflexiones sucesivas en el interior de la cocina. De todas maneras, tal como se mencionó corresponde aún un análisis de mayor profundidad para los presentes resultados.

ABSTRACT

This article deals with the evaluation of the solar radiation distribution inside a solar cooker, which was evaluated under the following circumstances : a) black walls b) reflective walls, each one in summer (january/02) and in winter (august/02). The supplementary light from the concentrator was a 20% greater in winter than in summer, and the wave length was increased between 500 and 700 nm. The glass produces an extinction of 35 %. It was also determined the relationship between received radiation and total incident radiation inside the cooker.

REFERENCIAS

M. Quiroga L.R.Saravia, C. Cadena. (2001) Aplicación Del Programa Sceptre Para La Simulación De Una Cocina Solar Tipo Caja "Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol 5 - 106-08

R. Echazú, C. Cadena, L. Saravia. (2000) Estudio de Materiales Reflectivos para Concentradores Solares. en "Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol 4 - N° 2 pp 08-12, 08-17